

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 65725

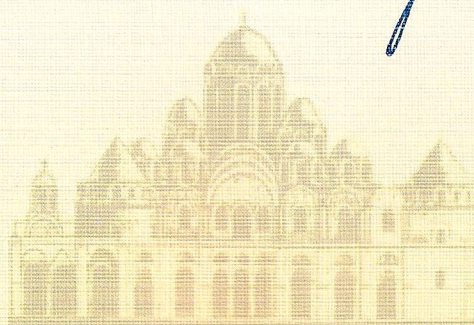
СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КАТОДНОГО КОНТАКТУ  
ДІОДІВ ГАННА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи  
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні  
моделі 12.12.2011.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій





(19) UA

(51) МПК  
H01L 21/66 (2006.01)

- (21) Номер заявки: **u 2011 06930**
- (22) Дата подання заявки: **01.06.2011**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.12.2011**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **12.12.2011, Бюл. № 23**

- (72) Винахідники:  
**Беляєв Олександр Євгенович, UA,**  
**Іванов Володимир Миколайович, UA,**  
**Веремійченко Георгій Микитович, UA,**  
**Ковтонюк Віктор Михайлович, UA,**  
**Конакова Раїса Василівна, UA,**  
**Кудрик Ярослав Ярославович, UA,**  
**Міленін Віктор Володимирович, UA,**  
**Шеремет Володимир Миколайович, UA,**  
**Новицький Сергій Вадимович, UA,**  
**Бобиль Олександр Васильович, UA,**  
**Тарасов Ілля Сергійович, UA,**  
**Арсентьєв Іван Микитович, UA**
- (73) Власник:  
**ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ,**  
 пр. Науки, 41, м. Київ-680, 03028, UA

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КАТОДНОГО КОНТАКТУ ДІОДІВ ГАННА**

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб контролю якості катодного контакту діодів Ганна, який полягає в тому, що на напівпровідниковій пластині формують омичні контакти, за допомогою зондового блока, який дозволяє пропускати струм через досліджувану мезаструктуру і закорочені сусідні мезаструктури, вимірюють ВАХ (вольт-амперні характеристики), прикладаючи до досліджуваної мезаструктури імпульси напруги з послідовно зростаючою амплітудою однієї і іншої полярності, з ВАХ визначають порогову напругу -  $U_{пор}$ , пороговий струм -  $I_{пор}$ , мінімальний струм -  $I_{min}$ , напругу пробією -  $U_{проб}$ , придатними визнають структури, в яких  $U_{проб}/U_{пор} > 10$  і  $I_{пор}/I_{min} > 1$ , який відрізняється тим, що на напівпровідниковій пластині формують омичні контакти різного діаметра, з ВАХ визначають величину напруги  $2 \cdot U_{пор}$  і величину струму  $U_{2пор}$ , що відповідає цій напрузі,

(11) **65725**

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою

3 арк.

12.12.2011



Уповноважена особа

(підпис)



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **65725** (13) **U**  
(51) МПК  
**H01L 21/66 (2006.01)**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КАТОДНОГО КОНТАКТУ ДІОДІВ ГАННА**

1

2

**(21)** u201106930

**(22)** 01.06.2011

**(24)** 12.12.2011

**(46)** 12.12.2011, Бюл.№ 23, 2011 р.

**(72)** БЕЛЯЄВ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ, ІВАНОВ ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ, ВЕРЕМІЙЧЕНКО ГЕОРГІЙ МИКИТОВИЧ, КОВТОНЮК ВІКТОР МИХАЙЛОВИЧ, КОНАКОВА РАІСА ВАСИЛІВНА, КУДРИК ЯРОСЛАВ ЯРОСЛАВОВИЧ, МІЛЕНІН ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ, ШЕРЕМЕТ ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ, НОВИЦЬКИЙ СЕРГІЙ ВАДИМОВИЧ, БОБИЛЬ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ, ТАРАСОВ ІЛЛЯ СЕРГІЙОВИЧ, АРСЕНТЬЄВ ІВАН МИКИТОВИЧ

**(73)** ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

**(57)** Спосіб контролю якості катодного контакту діодів Ганна, який полягає в тому, що на напівпровідниковій пластині формують омичні контакти, за допомогою зондового блока, який дозволяє пропускати струм через досліджувану мезаструктуру і закорочені сусідні мезаструктури, вимірюють ВАХ (вольт-амперні характеристики), прикладаючи до досліджуваної мезаструктури імпульси напруги з послідовно зростаючою амплітудою однієї і іншої

полярності, з ВАХ визначають порогову напругу -  $U_{пор}$ , пороговий струм -  $I_{пор}$ , мінімальний струм -  $I_{min}$ , напругу пробією -  $U_{проб}$ , придатними визнають структури, в яких  $U_{проб} / U_{пор} > 10$  і  $I_{пор} / I_{min} > 1$ , який відрізняється тим, що на напівпровідниковій пластині формують омичні контакти різного діаметра, з ВАХ визначають величину напруги  $2 \cdot U_{пор}$  і величину струму  $U_{2пор}$ , що відповідає цій напрузі, напругу нелінійності -  $U_n$ , додатково відбраковують структури з  $U_n > 0,2V$  і  $I_{пор} - I_{2пор} < 0,01A$ , за допомогою формули

$$P_{вих} = 2U_{пор} \times I_{2пор} \times \eta, \quad \text{де } \eta = \frac{1}{2} \times \frac{1 - [I_{2пор} / I_{пор}]}{1 + [I_{2пор} / I_{пор}]} -$$

коефіцієнт корисної дії діода, визначають прогнозовану вихідну потужність  $P_{вих}$  діода Ганна, відповідно до отриманих даних підбирають діаметр катодного контакту, враховуючи вимоги, що висуваються до готового діода.

Корисна модель належить до способів вимірювання параметрів напівпровідникових надвисокочастотних (НВЧ) приладів, зокрема діодів Ганна.

Діоди Ганна успішно використовуються протягом 50 років як мікрохвильові генератори. Вони служать як стабільні та дешеві мікрохвильові джерела там, де це потрібно. Діоди Ганна зайняли численні ніші в техніці НВЧ, включаючи зв'язок: змішувачі приймаючих сигналів та сигналу гетеродина, генератори накачки для параметричних підсилювачів, генератори для радіозв'язку та джерела мікрохвильових коливань в військових та цивільних радарх. Також використовуються як комерційні сенсори швидкості, напрямку, відстані та в датчиках рівня безпеки. Пристрої з генератором Ганна також використовують в системах запобігання зіткненню транспортних засобів та контролю місцезнаходження об'єктів, що рухаються.

Для безвідмовної роботи пристроїв і систем з діодом Ганна необхідним є прогнозування строку безвідмовної роботи приладу при заданих вихідній потужності, робочій частоті та коефіцієнті корисної дії. В виробництві напівпровідникових приладів існує система контролюючих параметрів, яка є невід'ємною частиною технологічного маршруту їх виготовлення.

Відомі способи та пристрої для післяопераційного контролю і виявлення ненадійних діодів Ганна на різних стадіях виготовлення відображені в ряді патентів, наприклад [1]. Технічне рішення, розглянуте в цьому джерелі інформації, дає змогу вимірювати вольт-амперні характеристики (ВАХ) і опір діодів Ганна в імпульсному режимі. Запропоновані критерії діагностики засновані на статичному аналізі зв'язку параметр - вихідна характеристика діода. Показано існування залежності між

(13) **U**

(11) **65725**

(19) **UA**

пороговою напругою та частотою генерації. В результаті аналізу динаміки зміни форми ВАХ в процесі виготовлення діодів Ганна встановлено, що найбільш чутливими параметрами ВАХ до відхилення технологічних процесів є пробивна напруга  $U_{\text{проб}}$  та пороговий струм  $I_{\text{пор}}$ . Для реалізації цього способу діагностики запропонована оригінальна зондова система [2]. Зондова система забезпечує надійне підключення напівпровідникової структури до вимірювальної частини, що і забезпечує надійну діагностику з високою достовірністю.

Найбільш близьким до заявленої корисної моделі є технічне рішення [3], яке взяте за прототип. Спосіб контролю діодів Ганна в процесі виготовлення, заснований на знятті ВАХ мезаструктур і визначенні порогового струму  $I_{\text{пор}}$ , мінімального струму  $I_{\text{мін}}$ , напруги пробую  $U_{\text{проб}}$  та порогової напруги  $U_{\text{пор}}$ . Придатними визнають мезаструктури, у яких  $U_{\text{проб}}/U_{\text{пор}} > 10$ ;  $I_{\text{пор}}/I_{\text{мін}} > 1$ . Таким чином, визначаючи  $I_{\text{пор}}$ ,  $I_{\text{мін}}$ ,  $U_{\text{проб}}$  та  $U_{\text{пор}}$  вдається відбракувати низькоефективні та потенційно ненадійні мезаструктури до виготовлення готового приладу, що заощаджує час, матеріали та робочу силу. Незважаючи на високу ефективність контролю діодів Ганна таким способом, розглянутий пристрій має такі недоліки:

1. Спосіб забезпечує контроль діодів на пізній стадії технологічного процесу - після формування мезаструктури з контактною системою.

2. Низька продуктивність внаслідок необхідності контролю кожної мезаструктури окремо.

3. В знятих ВАХ недостатня інформація про якість катодного контакту.

До браку катодного контакту вірогідно можуть привести наступні фактори:

1. Відхилення від необхідних параметрів концентрації носіїв і товщини активного шару початкової епітаксійної структури  $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ .

2. Відхилення від оптимальних товщин елементів контактної системи при послідовному нанесенні шарів.

3. Відхилення від режимів термообробки в процесі формування катодного контакту.

Задачею корисної моделі є контроль якості катодного контакту діодів Ганна на ранніх стадіях виготовлення, підвищення продуктивності процесу контролю, покращення надійності та достовірності вимірювань.

Поставлена задача вирішується у способі, який полягає в тому, що на напівпровідниковій пластині формують омичні контакти, за допомогою зондового блока, який дозволяє пропускати струм через досліджувану мезаструктуру і закорочені сусідні мезаструктури, вимірюють ВАХ, прикладаючи до досліджуваної мезаструктури імпульси напруги з послідовно зростаючою амплітудою однієї і іншої полярності, з ВАХ визначають порогову напругу -  $U_{\text{пор}}$ , пороговий струм -  $I_{\text{пор}}$ , мінімальний струм -  $I_{\text{мін}}$ , напругу пробую -  $U_{\text{проб}}$ , придатними визнають структури, в яких  $U_{\text{проб}}/U_{\text{пор}} > 10$  і  $I_{\text{пор}}/I_{\text{мін}} > 1$ , який відрізняється тим, що на напівпровідниковій пластині формують омичні контакти різного діаметра, з ВАХ визначають величину напруги  $2 \cdot U_{\text{пор}}$  і величину струму  $I_{2\text{пор}}$ . Що відповідає цій напрузі, напругу нелінійності -  $U_{\text{н}}$ , додатково відб-

раковують структури з  $U_{\text{н}} > 0,2$  В і  $I_{\text{пор}} - I_{2\text{пор}} < 0,01$  А, за допомогою формули

$$P_{\text{вих}} = 2U_{\text{пор}} \times I_{2\text{пор}} \times \eta, \text{ де } \eta = \frac{1}{2} \times \frac{1 - [I_{2\text{пор}}/I_{\text{пор}}]}{1 + [I_{2\text{пор}}/I_{\text{пор}}]}$$

- коефіцієнт корисної дії діода, визначають прогнозовану вихідну потужність  $P_{\text{вих}}$  діода Ганна, відповідно до отриманих даних підбирають діаметр катодного контакту, враховуючи вимоги, що висуваються до готового діода.

Нелінійність ВАХ на початковій ділянці та продовження лінійної характеристики до перетину з віссю напруги, дає точку  $U_{\text{н}}$ , Фіг. 1. Епітаксійні структури з діаметрами катодних контактів, у яких  $U_{\text{н}} > 0,2$  В, відбраковуються як ненадійні. Наявність такої нелінійної ділянки на початку ВАХ вказує на метастабільність катодного контакту. Нестабільний у часі контакт призводить до виходу з ладу діода Ганна та пристрою, в який він включений.

Величина порогової напруги  $U_{\text{пор}}$  знаходиться при максимальному струмі  $I_{\text{пор}}$  через мезаструктуру, Фіг. 2. Величина порогового струму  $I_{2\text{пор}}$  відповідає подвійному значенню порогової напруги -  $2U_{\text{пор}}$ . Параметри  $U_{\text{пор}}$ ,  $2U_{\text{пор}}$ ,  $I_{\text{пор}}$  та  $I_{2\text{пор}}$  характеризують від'ємний диференційний опір діодної структури з катодним контактом. Різниця величини струму  $\Delta I = I_{\text{пор}} - I_{2\text{пор}} < 0,01$  А дає змогу оцінити структуру як неробочу через відсутність на ВАХ ділянки з від'ємний диференційним опором. Критерії оцінки якості катодних контактів ( $U_{\text{н}} > 0,2$  В,  $\Delta I = I_{\text{пор}} - I_{2\text{пор}} < 0,01$  А) підтверджені численними експериментами при різних діаметрах тестових структур та матеріалах, в яких реалізовано ефект Ганна.

Отже, за допомогою експериментально визначених з ВАХ параметрів  $I_{\text{пор}}$ ,  $I_{2\text{пор}}$ ,  $U_{\text{пор}}$ ,  $2U_{\text{пор}}$  та  $U_{\text{н}}$  за допомогою запропонованої формули можна прогнозувати вихідну потужність діодів Ганна, що дозволяє контролювати якість катодного контакту на ранніх стадіях виготовлення діодів і підбирати їх діаметр.

Нижче наведений приклад по реалізації способу контролю якості катодного контакту діода Ганна. ВАХ експериментально знімалась вимірювальною приладом Л2-56. Вимірювальний прилад за допомогою зондової системи, схема якої показана на Фіг. 3, підключався до тестової структури, яка зображена на Фіг. 4 з діаметрами контактів 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 180, 200 мкм.

Дані вимірювань контролюючих параметрів при різних діаметрах тестових структур наведені в табл. 1.

Таблиця 1

$\varnothing_{\text{конт.}}$	$U_{\text{пор}}, \text{В}$	$I_{\text{пор}}, \text{А}$	$I_{2\text{пор}}, \text{А}$	$P_{\text{вих}}, \text{Вт}$
40	1,8	0,1	0,9	-
60	1,8	0,2	0,16	0,03
80	1,8	0,42	0,35	0,06
100	1,8	0,6	0,5	0,08
120	1,8	0,82	0,66	0,13
140	1,8	0,12	0,86	-
160	1,8	1,46	1,0	0,34

Експериментальні результати знаходження оптимальних робочих діапазонів частот діодів

Ганна із GaAs в залежності від  $U_{пор}$  наведені в табл. 2.

Таблиця 2

$U_{пор}, В$	1,2÷1,4	1,4÷1,6	1,6÷2,0	2,0÷2,5
$\Delta f_{раб}, ГГц$	78,0÷53,0	53,0÷37,5	37,5÷25,0	25,0÷17,0

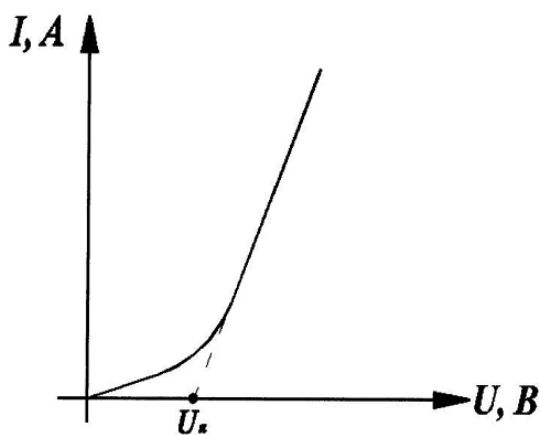
Таким чином, використання запропонованого технічного рішення дає змогу відібрати надійні епітаксійні структури з катодними контактами необхідного діаметра та на їх основі виготовити діоди Ганна з необхідними параметрами: робочим діапазоном частот, потужністю, коефіцієнтом ко-

рисної дії та терміном безвідмовної роботи 1000 годин.

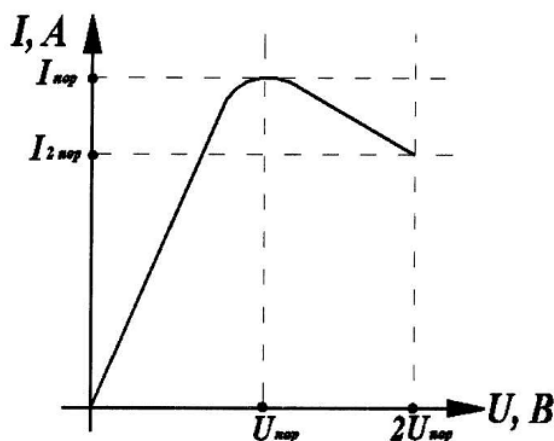
1. Уширенко А.А., Юрченко В.И. Автоматизированная контрольно-измерительная аппаратура для технологического контроля. //Электронная промышленность 9/93, с. 50-53.

2. Юрченко В.И., Емельянович П.Ф. и Шушнев В.Л. Зондовая измерительная головка. А.с. СССР №930435 М. Кл<sup>3</sup> H01L 21/66, Заявл. 17.09.80, опубл. 23.05.82.

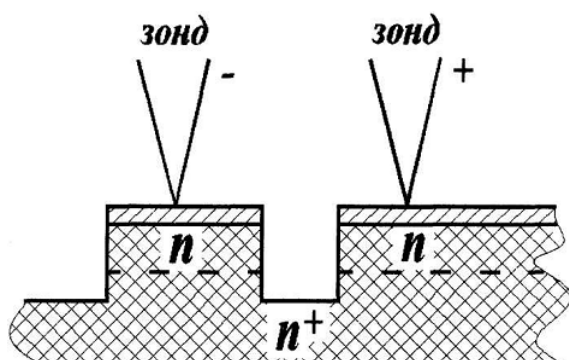
3. Юрченко В.И., Емельянович П.Ф., Шушнев В.Л., Голубцова Г.А. Способ отбраковки диодов Ганна в процессе изготовления. А.с. СССР №923316 М. Кл<sup>3</sup> H01L21/66, Заявл. 23.07.80



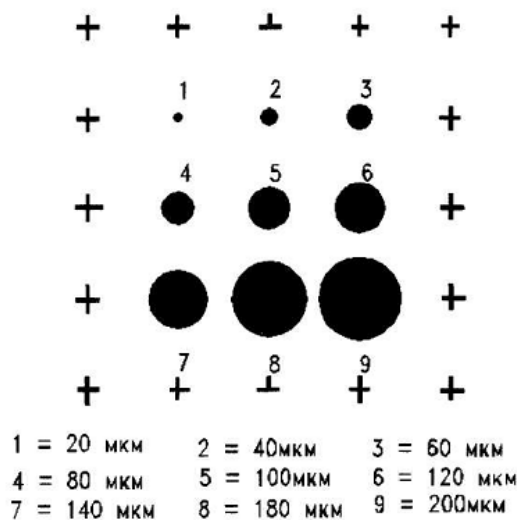
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4